

ARQUITECTURA, DISEÑO
Y TECNOLOGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE DEL AMBIENTE

IX CRETA
CONGRESO REGIONAL DE TECNOLOGÍA
DE LA ARQUITECTURA



Diseño de un dispositivo de bajo costo para medir la conductividad térmica de materiales secos en régimen estacionario

Mariano Creus, Diego Paz, Augusto Coronel y Rosa Enrich

Cátedra de Matemática N° 2 y Laboratorio de Investigación Proyectual
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
Calle 47 N° 162, (1900) La Plata, Argentina. Tel. 0054 221 4236587 al 90. Web: www.fau.unlp.edu.ar
Correos electrónicos: mcreus@fau.unlp.edu.ar, fau.mat.enrich@gmail.com

Resumen

Como resultado de las actividades de extensión en el Barrio Villa Alba, partido de La Plata, donde la mayoría de las construcciones del barrio son de chapa, madera o ladrillo sin revoque, elaboramos en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) un proyecto de investigación con el objetivo de favorecer el confort térmico de viviendas precarias utilizando materiales de bajo costo y de descarte provenientes de las obras de construcción (poliestireno expandido, cartón corrugado y aserrín, por ejemplo). Consecuencia de la necesidad de caracterizar las diferentes propuestas de mejoras realizadas, es el desarrollo de un medidor de conductividad térmica en estado estacionario con fines educativos. El alcance de la etapa inicial de este proyecto (diseño conceptual) fue la especificación de los requerimientos funcionales y el diseño geométrico del equipo. En este trabajo inicial se compararon diversos tipos de dispositivos publicados: esféricos, cilíndricos y planos. Esta última alternativa, ha sido la más conveniente para nuestro proyecto.

En este artículo, describimos la siguiente etapa del mencionado proyecto: el diseño térmico. Se discuten aspectos como la posibilidad de medir simultáneamente dos muestras del mismo material o una muestra desconocida junto a un material de referencia. Se presenta un análisis sobre la factibilidad del diseño térmico y las incertidumbres de los datos que registra el instrumento.

Palabras clave: diseño térmico, conductividad térmica, materiales no convencionales, viviendas vulnerables, enseñanza.

1 Introducción.

En la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) desempeñamos tareas en docencia, en investigación y en extensión. Es en el contexto de esta última actividad donde hemos analizado un grupo de viviendas del Barrio Villa Alba, partido de La Plata, con la finalidad de mejorar las condiciones de habitabilidad. Una alternativa accesible para lograr esto consiste en la reutilización de materiales de bajo costo y/o de descarte provenientes de las obras de construcción. Paralelamente, nos hemos propuesto construir un medidor de transmitancia térmica de materiales secos con fines pedagógicos. Este proyecto de investigación comenzó con la búsqueda de trabajos relacionados con este tema (Diez Campos, J. y otros. (2007); Férriz Rodríguez, C. A.(2007); Gutiérrez, J. González, A. D. (2012); Péclet (1860); Saravia, L. R. (2009)). Como primer resultado de este proyecto de investigación, hemos realizado el diseño conceptual del equipo (Creus M., Paz D., Galella A. y Enrich R. (2015)). El método utilizado se basa en la Ley de Fourier de conducción de calor unidimensional en régimen estacionario. El diseño adoptado es el de “placa caliente sin guarda térmica” (ASTM C177-04). El exterior del equipo consta de un marco lateral y dos tapas, todos de acrílico transparente de 8 mm de espesor. En su interior, se hallan placas de poliestireno extruido ($\lambda_{\text{Pol.Ext.}} = 0,028 \text{ W/m.K}$) de 20 mm y 50 mm, una fuente de calor en el centro con dos superficies opuestas calefactoras y por encima y por debajo de éstas dos volúmenes de 120 mm x 120 mm y altura ajustable para alojar a las muestras a medir. Los laterales de estos espacios están limitados por las placas de aislantes térmicos y sus caras inferior y superior por dos placas de aluminio ($\lambda_{\text{Al}} = 209,3 \text{ W/m.K}$) de 3 mm de espesor, la superficie calefactora de la fuente y la superficie fría que está en contacto térmico con el ambiente del exterior del equipo.

Cada una de las 4 placas metálicas poseen dos sensores de temperatura LM35 (LM35 (2000)), uno en el centro de la misma y otro cercano a su borde para comprobar el grado de uniformidad de su temperatura.

En la figura 1 se muestra el corte transversal del equipo para dos configuraciones de medición, para muestras de espesores mínimo (~10 mm) y máximo (~70 mm). El sombreado con líneas indica las placas aislantes de poliestireno extruido.

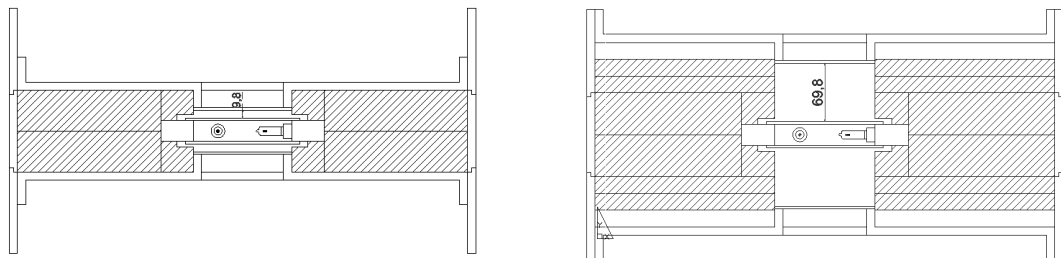


Figura 1. Configuraciones para muestras de espesor mínimo (izquierda) y máximo (derecha). Los espesores de los alojamientos para las muestras se expresan en mm.

Fuente: Elaboración propia.

2 Desarrollo.

La figura 2 muestra un esquema de la fuente de calor del equipo. Esta consta de un marco de cerámica compacta de 50,8 mm de espesor y 4 lámparas halógenas “bi-pin” conectadas en paralelo a una diferencia de potencial de 12 V.

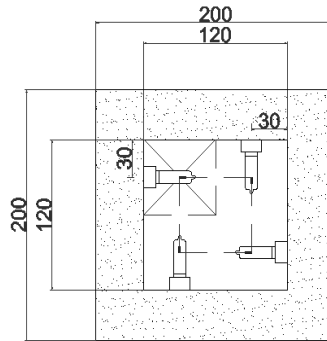


Figura 2. Vista superior de la fuente de calor. (Cotas en mm).

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de lámparas incandescentes pueden soportar temperaturas de hasta 300°C, tienen una vida útil nominal de 2000 h y su temperatura de color es de 2900 °C. Se ofrecen en el mercado con valores nominales de potencia de consumo y de flujo luminoso de 20 W con 300 lm y de 50 W con 800 lm (Cápsula halógena Philips 20W/50W). Los rendimientos luminosos totales de estas lámparas son 15 lm/W y 16 lm/W, respectivamente. Esto significa que el porcentaje de la potencia consumida que se transforma en luz es 2,2 % en la lámpara de 20 W y 2,3% en la de 50 W. Debido a las características similares a ambas lámparas, se escogió la de mayor potencia nominal (50 W).

Se conoce con el nombre de equivalente luminoso de la radiación al valor teórico para una conversión total (100 %) de la potencia consumida en radiación luminosa de longitud de onda 555 nm, en condiciones diurnas este valor es 683 lm/W. Podemos ahora estimar la fracción de la potencia consumida que se convierte en calor. La lámpara halógena de 50 W seleccionada posee un rendimiento $\eta = 16 \text{ lm/W} / 683 \text{ lm/W} = 2,3\%$. Entonces, solo 1,15 W se transformarán en luz y el 97,7% restante de la potencia consumida se convertirá mayoritariamente en calor que será disipado por los fenómenos de radiación, conducción y convección. Estamos despreciando la fracción de la potencia consumida que estas lámparas transforman en radiación ultravioleta.

La fuente térmica diseñada posee 4 lámparas halógenas de 50 W, luego la potencia entregada en forma de calor es: $q_s = 4 \cdot (97,7\% \cdot 50 \text{ W}) = 195,4 \text{ W}$.

La incertidumbre en el valor de la potencia entregada por la fuente (Δq_s) dependerá de las condiciones de funcionamiento del equipo. Analicemos dos configuraciones de medición posibles:

Caso 1. Flujo de calor simétrico: Medición de dos muestras “idénticas”.

Hipótesis: El calor generado por la fuente (q_s) se propaga hacia el ambiente exterior a través de las dos muestras de material a medir en partes iguales.

En estas condiciones, la expresión del flujo de calor a través de cada una de las muestras (q_m) en términos de la tensión (V) y de la intensidad de la corriente eléctrica total (I) resulta ser:

$$q_m = \frac{1}{2} q_s = \frac{1}{2} \cdot 97,7\% \cdot V \cdot I = 0,4885 \cdot V \cdot I \quad (1)$$

A partir de la Ley de Fick para la conducción del calor en condiciones estacionarias, podemos hallar una expresión para el valor de la conductividad térmica del material de la muestra (λ_m) en términos de su espesor (L_m), su área transversal (A_m) y la diferencia entre las temperaturas de las placas metálicas caliente (T_{m2}) y fría (T_{m1}) con las que se halla en contacto término:

$$\lambda_m = \frac{L_m q_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})} \quad (2)$$

Luego, la expresión para la incertidumbre de la conductividad térmica del material resulta ser:

$$\Delta \lambda_m = \frac{q_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})} \Delta L_m + \frac{L_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})} \Delta q_m + \frac{L_m q_m}{A_m^2 (T_{m2} - T_{m1})} \Delta A_m + \frac{L_m q_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})^2} \Delta T_{m2} + \frac{L_m q_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})^2} \Delta T_{m1} \quad (3)$$

$$\text{con } \Delta q_m = 0,4885 \cdot (V \cdot \Delta I + I \cdot \Delta V) \quad (4)$$

Caso 2. Flujo de calor asimétrico: Medición de una muestra junto a un material de referencia.

$$q_m = q_s - q_r = 0,977 \cdot V \cdot I - q_r$$

Del mismo modo, a partir de la Ley de Fick, obtenemos la expresión para la conductividad térmica de la muestra a medir:

$$\lambda_m = \frac{L_m q_m}{A_m (T_{m2} - T_{m1})} \quad (5)$$

Luego, la incertidumbre de la conductividad térmica del material estará dada por la ecuación (3), pero ahora la incertidumbre en el flujo de calor que se propaga por el material ya no estará dado por la expresión (4), en este caso tendremos una expresión de valor claramente mayor:

$$\Delta q_m = 0,977 \cdot (V \cdot \Delta I + I \cdot \Delta V) + \Delta q_r \quad (6)$$

$$\text{con } q_r = \lambda_r \frac{A_r (T_{r2} - T_{r1})}{L_r} \quad (7)$$

Nota: λ_r es conocido a partir de la ficha técnica del material de referencia utilizado.

3 Conclusiones

El diseño térmico propuesto cumple con el objetivo de sentar las bases para las etapas de especificación de los materiales y componentes requeridos para su fabricación.

La construcción del equipo permitirá comprobar experimentalmente el grado de validez de la hipótesis de flujo simétrico (Caso 1). De verificarse la aceptación de esta hipótesis se reducirá la incertidumbre en el valor del flujo de calor que se propaga por la muestra en más de un 50%, con la consecuente mejora en la precisión en la medida de la conductividad.

Las características del diseño propuesto permitirán medir transmitancia térmicas absolutas y relativas de materiales secos y su estructura modular brinda la posibilidad de medir muestras de distintos espesores dentro de un rango de valores, de 10 a 70 mm.

4 Referencias.

ASTM C177-04: Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot-Plate Apparatus.

Creus M., Paz D., Galella A. y Enrich R. (2015) Diseño conceptual de un dispositivo de bajo costo para medir la conductividad térmica de materiales secos en régimen estacionario. XXXIV Encuentro Arquisur 2015. XIX Congreso Arquisur: “Ciudades Vulnerables. Proyecto o incertidumbre”. Área temática 2: Tecnología. Septiembre 16, 2015 – septiembre 18, 2015.

Diez Campos, J. y otros. (2007) Determinación experimental de la conductividad térmica de materiales de la construcción. XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo, 26-28/09/07. :http://aeipro.com/files/congresos/2007lugo/ciip07_0348_0354.390.pdf

Férriz Rodríguez, C. A.(2007) Diseño, fabricación y calibración de un dispositivo para la caracterización de las propiedades termofísicas en materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso. Proyecto Final de Carrera de Ingeniería de Materiales Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona

Gutiérrez, J. González, A. D. (2012) Determinación experimental de conductividad térmica de materiales aislantes naturales y de reciclado. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 16 (pp. 08.41-08.47)

Péclet (1860). Mencionado en: Medición de Conductividad Térmica. Material didáctico, Transferencia de Calor y Masa, Ingeniería Mecánica, FI-UBA.
<http://materias.fi.uba.ar/6731/Problemas/Conductividad.pdf>

LM35 (2000). Precision Centigrade Temperature Sensors. National Semiconductor.
http://www.ece.usu.edu/ece_store/spec/lm35dt-3p.pdf

Cápsula halógena Philips 20W. <http://www.philips.com.ar/c-p/8711500900166/capsule-lampara-de-capsula-halogenas/caracteristicastecnicas>

Cápsula halógena Philips 50 W. <http://www.philips.com.ar/c-p/8711500900159/capsule-lampara-de-capsula-halogenas/caracteristicastecnicas>

Saravia, L. R. (2009) Equipo para la medida de la conductividad térmica medida en neumáticos desmenuzados. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, 2009. <http://www.congresos.unlp.edu.ar/index.php/CA/CA2015/paper/viewPaper/2848>